

پایش و پیش‌بینی خشکسالی و حجم آب ورودی به مخزن سد کوثر با استفاده از شاخص خشکسالی SPI و زنجیره مارکوف

اکبر خدري، اسلام قدمي، آرشي مصلح

۱- دانشجوی دکتری آب شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده زمین شناسی

۲- کارشناس آب منطقه ای استان کهگیلویه و بویر احمد، سد مخزنی کوثر

۳- کارشناس آب منطقه ای استان کهگیلویه و بویر احمد، کمیته تحقیقات

Email: (akbar136346@gmail.com)

چکیده

در مقاله حاضر با استفاده از سریهای زمانی حاصل از شاخص بارش استاندارد شده و زنجیره مارکوف، پایش و پیش‌بینی خشکسالی و حجم آب ورودی در سد مخزنی کوثر مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق با استفاده از حجم ورودی ماهانه دوره آماری ۵۸ ساله رودخانه خیرآباد (۱۳۳۵-۳۶ الی ۱۳۹۳-۹۴) احتمال تجمعی داده‌ها در توزیع نرمال محاسبه شد و با توجه به میانگین صفر، وانحراف از معیار یک شاخص SPI محاسبه گردید و در ادامه بر اساس توزیع تجمعی نرمال هر ماه از سال حدود حجم ورودی ماهانه در سری زمانی معادل و مرزهای عددی خشکسالی، نرمال و ترسالی در ماههای سال تعیین گردید و در انتها ماتریس درصد احتمال وقوع وضعیتهای محتمل در ماهها و سال آینده با استفاده از زنجیره مارکوف بدست آمد که بر اساس آن ۷ ماه از سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ در وضعیت نرمال سه ماه در وضعیت خشکسالی و ۲ ماه در وضعیت ترسالی قرار دارد و وضعیت سال آبی حاضر در مجموع نرمال پیش‌بینی می‌گردد. حجم تقریبی به دست آمده بر اساس شاخص SPI و زنجیره مارکوف ۵۵۴ میلیون مترمکعب می‌باشد.

کلمات کلیدی: خشکسالی، شاخص SPI، زنجیره مارکوف، سد مخزنی کوثر

۱. مقدمه

بلایای طبیعی نظیر سیل، رعد و برق، خشکسالی و غیره بخشی از محیط اطراف ما را تشکیل می‌دهند. این بلایا همواره بر زندگی انسانها تأثیر منفی داشته و در بیشتر موارد آسیب‌های جبران ناپذیری را در پی دارند بر اساس بررسی‌های انجام شده، امروزه تعداد و موارد وقوع این حوادث نسبت به ۳۰ سال گذشته افزایش یافته است حدود ۲۵ درصد از آنها رخدادهایی می‌باشند که به نحوی با عوامل جوی مرتبط هستند در میان این پدیده‌ها خشکسالی یکی از مهمترین و شاید تأثیر گذارترین آنها باشد، چرا که گستردگی آن در برخی از موارد مرز قاره‌ها را نیز درنور دیده است [۱]. خشکسالی هواشناسی یا آب و هوایی اساساً ناشی از کمبود بارندگی می‌باشد، بارش عمده‌ترین پارامتری است که در تعریف خشکسالی به کار می‌رود و کمبود یا فقدان آن آستانه رخداد خشکسالی است [۲]. منظور از پایش یک وضعیت آب و هوایی در یک منطقه، بررسی آن وضعیت در سری زمانی آمار موجود در آن منطقه می‌باشد [۳]. اقدامات اولیه پایش خشکسالی بیشتر با تحلیل فراوانی منطق‌های خشکسالی در مقیاس کوچک آغاز شد [۴]. در دهه‌های گذشته معمولاً تحلیل خشکسالی به صورت توصیفی انجام می‌گرفت و کمتر به تحلیل کمی پرداخته میشد [۵]. اصولاً برای تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص جهت تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است [۶]. یکی از شاخص‌های مهم مورد استفاده در مطالعات خشکسالی شاخص

استاندارد بارش می‌باشد که در این مطالعه جهت پیش‌بینی خشکسالی و حجم آب ورودی به مخزن سد کوثر با کمک زنجیره مارکوف استفاده شده است.

۲. پیشینه تحقیق

مک کی و همکاران برای اولین بار شاخص SPI را در ایالت کلرادو آمریکا به کار بردند و دریافتند که برای برازش داده‌های بارندگی، توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع می‌باشد [۷]. انصافی مقدم چند شاخص خشکسالی را در حوضه دریاچه نمک مورد ارزیابی قرار داد و شاخص SPI را مناسب‌ترین شاخص معرفی کرد [۸]. مدل‌های خود همبستگی و زنجیره مارکوف از جمله مدل‌های سری زمانی هستند که برای پیش‌بینی احتمالاتی بارندگی و رویدادهای خشکسالی به کار می‌روند. از مدل زنجیره مارکوف برای بیان و تعریف ویژگی‌های تصادفی فرآیندهای تصادفی (متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژی) استفاده می‌شود. از موارد استفاده از زنجیره مارکوف می‌توان به استفاده گابریل و نیومن از یک مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول برای تعیین روزهای خشک و تر با استفاده از داده‌های بارندگی روزانه که در منطقه‌ای در فلسطین اشغالی استفاده نمودند نامبرد [۹]. تامسون از مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول جهت تعیین ماتریس احتمال انتقال و پهنه بندی احتمال وقوع وضعیت خشکسالی، ترسالی و نرمال در ایالات مرکزی آمریکا استفاده کرد [۱۰]. زیلاجی و همکاران با استفاده از زنجیره مارکوف به تولید اطلاعات دبی روزانه بر روی رودخانه تیسزا واقع در اروپای شرقی پرداختند و بر توانایی مدل زنجیره مارکوف تاکید داشتند [۱۱].

۳. مواد و روش‌ها

۳-۱. شاخص SPI و زنجیره مارکوف

در روش شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) داده‌های ثبت شده در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی، با توزیع آماری گاما برازش داده شده و سپس به توزیع نرمال استاندارد (با میانگین صفر و واریانس ۱) انتقال می‌یابند. مقدار Z قرائت شده همان مقدار شاخص می‌باشد. مقادیر مثبت شاخص نشان دهنده بارندگی‌های بیش از میان و مقادیر منفی بارندگی زیر میان را نشان می‌دهد. طبقات این شاخص در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول ۱. طبقات مختلف شاخص SPI

خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی متوسط	خشکسالی ضعیف	نرمال	ترسالی ضعیف	ترسالی متوسط	ترسالی شدید	ترسالی بسیار شدید	عنوان طبقه
کوچکتر مساوی -۲	بزرگتر از -۲	کوچکتر مساوی -۱/۵	بزرگتر از -۱/۵	کوچکتر مساوی -۱	بزرگتر از -۱	کوچکتر مساوی -۰/۵	بزرگتر از -۰/۵	کوچکتر مساوی ۰	حدود طبقات SPI

با توجه به اینکه داده‌های بارندگی از توزیع گاما تبعیت می‌کنند بنابراین در این روش توزیع فراوانی بارندگی در هر ایستگاه به توزیع گاما برازش داده می‌شود.

$$g(x) = \frac{1}{B^{\alpha}\Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-x/B} \text{ for } x > 0 \quad (1)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

که در روابط فوق α : پارامتر نمودار B : پارامتر مقیاس، X : مقدار بارندگی و Γ : تابع گاما می‌باشند. مقادیر α و B برای ایستگاه‌های مختلف در هر مقیاس زمانی برآورد میگردد. پس از محاسبه تابع تجمعی کل، با استفاده از جدول تابع گامای ناقص برای تعیین احتمالات تجمعی $g(x)$ ، تغییر نمودار هم احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس ۱ صورت می‌گیرد. زنجیره مارکف حالت خاصی از مدل‌هایی است که در آنها حالت فعلی یک سیستم به حالت‌های قبلی آن بستگی دارد. در تعیین حالت سیستم با استفاده از مدل مارکف باید دو عامل را مشخص نمود. این دو عامل عبارتند از حالت سیستم در زمان مشخص و احتمالات تغییر حالت خاص به حالت‌های ممکن دیگر که اصطلاحاً احتمالات گذار نامیده می‌شود. اگر مجموعه حالات ممکن در یک زنجیره مارکف محدود باشد میتوان یک ماتریس مربع P را تشکیل داد که عناصر آن عموماً معرف ماتریس احتمال گذار است.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

احتمال حالت‌های آغازین سیستم در ستون سمت چپ و احتمال حالت‌هایی که سیستم از آنها گذر میکند در طول سطرهای ماتریس نشان داده شده است.

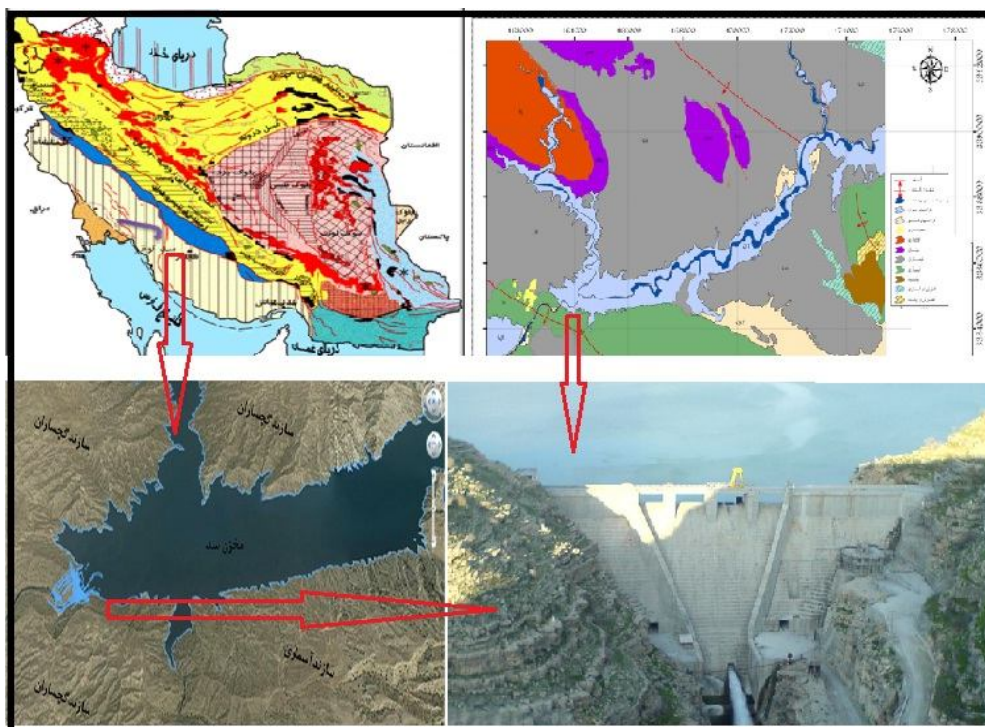
۳-۲. موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی سد مخزنی کوثر

سد کوثر از نوع بتنی وزنی در جنوب ایران، استان کهگیلویه و بویراحمد و در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال غربی شهر گچساران بر روی رودخانه خیرآباد در محل تنگ دوک با مشخصات جغرافیایی ۲۲-۵۰ تا ۱۵-۵۱ طول شرقی و ۲۵-۳۰ تا ۵۵-۳۰ عرض شمالی احداث گردیده است. محل تنگ دوک در ناحیه چین‌خورده سلسله جبال زاگرس، در جنوب غربی ایران در یال شمال شرقی طاق‌دیس دوک با روند شمال باختری جنوب خاوری می‌باشد که توسط رودخانه خیرآباد بریده شده است. جنس سنگ جناحین محل سد از سنگ آهک (ساحل چپ) و آهک مارنی و گچ (ساحل راست) می‌باشد. مخزن سد کوثر با مساحت ۱۶/۲ کیلومتر مربع دربرگیرنده حجمی حدود ۵۸۰ میلیون مترمکعب است. سازندهای آسماری، گچساران، تراس‌های جوان و رسوبات بستر رودخانه مخزن سد کوثر را در بر می‌گیرند (شکل ۱).

۳-۳. اهداف طرح سد مخزنی کوثر

سد کوثر یک سد مخزنی چندمنظوره است که برای تأمین اهداف زیر ساخته شده است:

- ✓ تأمین آب شرب و صنعت شهرها و بنادر حاشیه خلیج فارس و بخشی از شهرها و روستاهای استان کهگیلویه و بویراحمد
- ✓ تأمین آب کشاورزی تراس چپ رودخانه خیرآباد و دشت لیشر در شهرستان گچساران
- ✓ تأمین حقابه‌های پائین دست در محدوده استان کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان
- ✓ تأمین آب مورد نیاز صنایع نفت و گاز
- ✓ تأمین آب برای نیازهای زیست محیطی رودخانه خیرآباد
- ✓ جلوگیری از سیلاب‌های مخرب رودخانه خیرآباد



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی سد مخزنی کوثر

۳-۴. روش کار

با توجه به اهمیت سد مخزنی کوثر در تأمین آب شرب و کشاورزی، به دست آوردن اطلاعاتی از حجم ورودی آب به مخزن در سال آبی پیش رو نه تنها کمک شایانی به تهیه برنامه منابع و مصارف آبی این سد می‌نماید، بلکه باعث می‌شود که خشک‌سالی‌های احتمالی پیش رو را به نحو مطلوبی مدیریت نمود. همان گونه که گفته شد، برای انجام پیش‌بینی خشک‌سالی نیاز به آمار طولانی مدت می‌باشد. با در نظر گرفتن حجم ورودی ماهانه طول دوره آماری ۵۸ ساله رودخانه خیرآباد (۳۶-۱۳۳۵ الی ۱۳۹۳) احتمال تجمعی داده‌ها در توزیع نرمال محاسبه شد و با توجه به میانگین صفر، و انحراف از معیار ۱ شاخص SPI که بیانگر تعداد انحراف هر رخداد حجم ورودی از مقدار میانگین می‌باشد، محاسبه گردید. به این ترتیب بر اساس توزیع تجمعی نرمال هر ماه از سال احتمال مقادیر حجم ورودی ماهانه در سری زمانی معادل آن تعیین شد. مرزهای عددی خشک‌سالی، نرمال و تر سالی در ماه‌های سال محاسبه شد. در جدول شماره ۲ نمونه این مرزها آورده شده است. در انتها ماتریس درصد احتمال وقوع وضعیتهای محتمل در ماه‌ها و سال آینده با استفاده از زنجیره مارکف محاسبه شد و نتایج آن در جداول جداگانه برای هر ماه از سال آبی بعد از تلفیق با شاخص SPI آورده شد (جدول ۳) براساس این جدول و بر اساس وضعیت ماه قبل میتوان وضعیت ماه بعد را تعیین نمود. همان گونه که در جدول مشخص است سلول‌های تیره شده محتمل‌ترین حالت در ماتریس گذار می‌باشد و در انتهای جدول وضعیت سالانه مشخص شده است. نتایج حاصله از این ماتریس برای تمامی ماه‌های سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

جدول ۲. مرزهای عددی خشکسالی، نرمال و ترسالی در ماه‌های سال و مقیاس سالانه

عنوان طبقه	شرط	مرزهای عددی خشکسالی، نرمال و ترسالی در ماه‌های سال و مقیاس سالانه												
		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
ترسالی	بزرگتر یا مساوی	35.2	52.1	112.4	155.6	202.0	215.6	218.4	139.3	82.7	59.7	48.7	42.5	1242.8
نرمال	کوچتر از	29.5	42.4	84.7	114.8	148.6	160.4	166.3	108.9	66.1	47.6	39.0	34.5	988.4
	بزرگتر از	29.5	42.4	84.7	114.8	148.6	160.4	166.3	108.9	66.1	47.6	39.0	34.5	988.4
خشکسالی	کوچتر یا مساوی	24.4	34.0	61.8	81.6	105.2	115.2	122.9	83.1	51.8	37.3	30.7	27.5	770.3

با مقایسه جدول ۲ نسبت به جدول ۴ ملاحظه می‌شود که ۷ ماه از سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ در وضعیت نرمال سه ماه در وضعیت خشکسالی و ۲ ماه در وضعیت ترسالی قرار دارد و وضعیت سال آبی حاضر در مجموع نرمال پیش‌بینی می‌گردد.

جدول ۳. جدول نهایی درصد احتمال وقوع وضعیت‌های محتمل در ماه‌ها و سال‌آبی ۹۵-۱۳۹۴ (درصد)

وضعیت ماه یا دوره حاضر	وضعیت ماه یا دوره بعدی	وضعیت کلی (تلفیقی)	جدول نهایی درصد احتمال وقوع وضعیت‌های محتمل در ماه‌ها و سال آینده (درصد)												
			مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
تر	تر	تر به تر	73.3	37.5	37.5	66.7	75.0	64.7	64.7	77.8	83.3	77.8	86.7	92.3	31.6
	نرمال	تر به نرمال	26.7	62.5	43.8	20.0	25.0	35.3	35.3	16.7	11.1	22.2	13.3	7.7	42.1
	خشک	تر به خشک	0.0	0.0	18.8	13.3	0.0	0.0	0.0	5.6	5.6	0.0	0.0	0.0	26.3
نرمال	تر	نرمال به تر	14.3	26.9	24.0	21.7	26.3	30.0	23.8	14.3	15.8	5.6	0.0	10.7	46.7
	نرمال	نرمال به نرمال	67.9	53.8	44.0	43.5	52.6	50.0	61.9	61.9	73.7	88.9	96.0	85.7	20.0
	خشک	نرمال به خشک	17.9	19.2	32.0	34.8	21.1	20.0	14.3	23.8	10.5	5.6	4.0	3.6	33.3
خشک	خشک	خشک به خشک	80.0	76.5	55.6	66.7	75.0	77.3	81.0	80.0	90.9	78.3	89.5	83.3	62.5
	تر	خشک به تر	0.0	17.6	16.7	4.8	0.0	0.0	9.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.8
	نرمال	خشک به نرمال	20.0	5.9	27.8	28.6	25.0	22.7	9.5	15.0	9.1	21.7	10.5	16.7	16.7

جدول ۴. مقدار شاخص SPI، وضعیت رطوبتی و احتمال پارامترهای پیش‌بینی شده بر اساس مدل مارکف در سال آبی ۱۳۹۴-۹۵

سال آبی	عنوان	مقدار شاخص SPI، وضعیت رطوبتی و احتمال پارامترهای پیش‌بینی شده بر اساس مدل مارکف در سال آبی ۱۳۹۴-۹۵												
		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
۱۳۹۴-۹۵	مقدار پارامتر	15.11	25.86	99.63	88.31	61.94	61.52	49.64	43.43	32.16	34.35	22.18	19.70	553.83
	مقدار شاخص SPI	-0.64	-0.07	1.28	0.61	-0.16	-0.31	-0.73	-0.53	-0.36	0.34	-0.11	-0.17	-0.10
	وضعیت سیستم ۹ طبقه	خشکسالی ضعیف	نرمال	ترسالی متوسط	ترسالی ضعیف	نرمال	نرمال	خشکسالی ضعیف	خشکسالی ضعیف	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال
	وضعیت سیستم ۳ طبقه	خشکسالی	نرمال	ترسالی	ترسالی	نرمال	نرمال	خشکسالی	خشکسالی	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال
	درصد احتمال وقوع	80.0	76.5	44.0	66.7	75.0	50.0	61.9	80.0	90.9	88.9	96.0	85.7	62.5
	وضعیت واقعی	خشکسالی	نرمال	ترسالی	ترسالی	نرمال	نرمال	خشکسالی	خشکسالی	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال

بنابراین بر طبق مقدار شاخص SPI، وضعیت رطوبتی و احتمال پارامترهای پیش‌بینی شده بر اساس مدل مارکف در سال آبی ۱۳۹۴-۹۵ حجم آبی در حدود ۵۵۴ میلیون متر مکعب در کل این سال آبی وارد مخزن سد کوثر می‌گردد که از این مقدار بیشترین حجم ورودی مربوط به ماه‌های تر سال آبی می‌باشد (۳۵۲ میلیون متر مکعب). بدیهی است که با در دست داشتن تقریبی از حجم آب ورودی به مخزن می‌توان برنامه منابع و مصارف را به نحو مطلوبی تنظیم نمود بطوری که مشکل خشکسالی و کمبود آب را بتوان بطرز صحیح مدیریت نمود.

۴. نتیجه گیری

سد کوثر یک سد مخزنی چندمنظوره است که مهمترین هدف آن تأمین آب شرب و صنعت شهرها، روستاها و بنادر حاشیه خلیج فارس و ۵ استان جنوبی کشور به میزان ۲/۵ میلیون نفر می‌باشد. بر اساس مقدار شاخص SPI، وضعیت رطوبتی و احتمال پارامترهای پیش‌بینی شده بر اساس مدل مارکف در سال آبی ۱۳۹۴-۹۵ ملاحظه می‌شود که ۷ ماه از سال آبی ۱۳۹۴-۹۵ (آبان، بهمن، اسفند، خرداد، تیر، مرداد، شهریور) در وضعیت نرمال سه ماه (مهر، فروردین، اردیبهشت) در وضعیت خشکسالی و ۲ ماه (آذر، دی) در وضعیت ترسالی قرار دارد و وضعیت سال آبی حاضر در مجموع نرمال پیش‌بینی می‌گردد. در مجموع در این سال آبی حجم آبی در حدود ۵۵۴ میلیون متر مکعب وارد مخزن سد کوثر می‌گردد که از این مقدار بیشترین حجم ورودی مربوط به ماه‌های آذر و دی می‌باشد (حدود ۱۸۸ میلیون متر مکعب) و کمترین حجم ورودی مربوط به ماه‌های مهر و شهریور می‌باشد (حدود ۳۵ میلیون متر مکعب). با در دست داشتن تقریبی از حجم آب ورودی به مخزن در طول ماه

های سال و سال آبی می‌توان برنامه منابع و مصارف را به نحو مطلوبی تنظیم نمود و مشکل خشکسالی های احتمالی و کمبود آب را مدیریت نمود.

۱۲. مراجع

1. Kogan, F. N. 1998. Global drought watch from space. Bulletin of the American Meteorological Society, 78(4):621-636
۲. زارع ایبانه، ح. و ع. ا. محبوبی، ۱۳۸۳. بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخص‌های آماری خشکسالی، مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۶۴: ۲-۷
۳. علیزاده، ا. و ش. آشگرطوسی، ۱۳۸۷. توسعه یک مدل برای پایش و پیشبینی خشکسالی (مطالعه موردی استان خراسان رضوی)، مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک، ۲۲ (۱): ۲۵ - ۳۵
4. Whipple, W. 1966. Regional drought analysis Journal of Irrigation and Drainage Division, 92:3-11
5. Karl, T. R. and W. E. Rebsame. 1984. The identification of 10-to 20- Year temperature and precipitation fluctuation in the contiguous United States. Journal of Climate and Applied Meteorology. 23:950-966
6. Silva, V. P. R. 2003. On climate variability in Northeast Brazil. Journal of Arid Environment, 54(2):256-367.
7. Mckee, T. B., Doesken, N. J. and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. preprints Eighth Conference on Applied Climatology:179-184.
۸. انصافی مقدم، ط، ۱۳۸۶. ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسبترین شاخص در حوضه دریاچه نمک، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۴ (۱۳): ۲۷۱-۲۸۸.
9. Gabriel, K. R. and J. Neumann. 1962. A Markov Chain model for daily rainfall occurrences in Telaviv, Israel. Journal of the Royal Meteorological Society, 88:90-95
10. Thompson, S. A., 1999, Hydrology for water management, Balkema, Rotterdam Netherlands, 362 pp.
11. Szilagyi, J., Balint, G. A. Csik. , 2006. Hybrid , Markov Chain- based model for daily stream flow generation at multiple catchment sites. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 11(3): 245-256.